

## Modelado físico y numérico de un dique modificado para la producción de energía sostenible en puertos en el marco del proyecto Se@ports

Álvarez de Eulate, María F.<sup>a</sup>; Lara, Javier L.<sup>a</sup>; Rodríguez, Beatriz<sup>a</sup>; Guanche, Raúl<sup>a</sup>; Iturrioz, Arantza<sup>a</sup>; Álvarez, Álvaro<sup>a</sup>; Blanco, David<sup>a</sup>; Raba, Diego<sup>a</sup>; Di Paolo, Benedetto<sup>a</sup>; Di Lauro, Enrico<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria - Avda. Isabel Torres, 15, Parque Científico y Tecnológico de Cantabria, 39011, Santander, España. [maria.fuentes@unican.es](mailto:maria.fuentes@unican.es); [jav.lopez@unican.es](mailto:jav.lopez@unican.es) <sup>b</sup> Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", Naples, Italia

### 1. Introducción y objetivos

Los diques que dan abrigo a los puertos están diseñados para resistir la acción del oleaje, así como para disipar la energía del mismo, creando de esta manera condiciones de seguridad para las operaciones portuarias que se encuentran a su abrigo. Es por este motivo que los diques de protección de los puertos se presentan como una localización idónea para la integración en los mismos de dispositivos de conversión energía del oleaje (WECs).

Dentro de este marco de trabajo, y teniendo en cuenta la necesidad de establecer un compromiso entre los puertos el desarrollo y las operaciones sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, surgió el proyecto SE@PORTS, cuyo objetivo principal era establecer la idoneidad de un WEC para ser integrado en una infraestructura portuaria.

### 2. Metodología

El presente trabajo describe el análisis realizado mediante modelado numérico y físico desarrollado para la integración de un WEC mixto en un dique vertical basado en análisis combinado de dos tecnologías de última generación, la Columna de Agua Oscilante (OWC) y el Convertidor de Energía de Rebase del oleaje (OWEC). Esta selección se obtuvo como resultado de un análisis multicriterio considerando diferentes combinaciones de tecnologías WEC basadas tanto en los aspectos funcionales (rebase, reflexión, transmisión) como en los estructurales (estabilidad) de un dique.

La OWC consiste en una estructura de hormigón o acero parcialmente sumergida, que se encuentra conectada con el mar en su parte sumergida y en contacto con el aire encerrado en su interior por encima de la superficie del mar (ver Fig 1-izquierda). La oscilación de la superficie libre en el interior de la OWC producida por las olas que inciden sobre el dique, hace que el aire se comprima y expanda en el interior de la misma y fluya a través de una turbina, la cual acciona un generador eléctrico colocado en la parte superior de la misma. Se han construido ya varios prototipos (Planta Pico en las Islas Azores, 1995; Mutriku en España, 2008; Civitavecchia en Italia, 2012; etc.), todos ellos actualmente en funcionamiento.

En cuanto al OWEC, es un dispositivo que está diseñado para extraer energía del oleaje a partir de las olas que, por remonte sobre el dique y posterior rebase, alcanzan una piscina en la que se almacena dicho volumen de agua. Este volumen de agua posteriormente se convierte en energía a través de un conjunto de turbinas de baja carga (ver Fig 1-derecha). En este caso, también se han diseñado ya varios prototipos (TAPCHAN en Noruega, 1980; SSG, 2002; OBREC en Nápoles, 2013; etc.), pero no todos han sido construidos. Para el estudio de caso, se seleccionó el dispositivo OBREC ya que es una tecnología construida y probada.

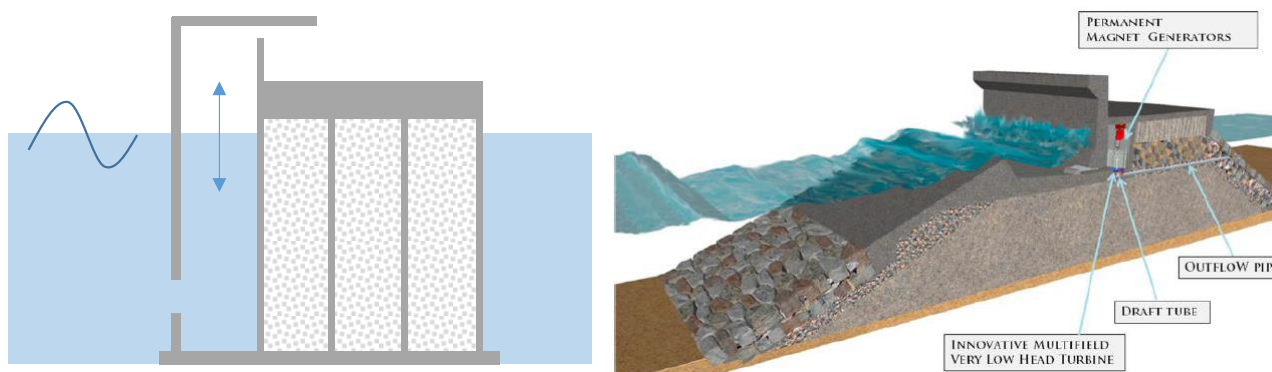


Fig. 1. OWC (izquierda) y OBREC (derecha).

Tal y como se ha comentado previamente, el análisis se ha realizado tanto mediante modelado numérico como mediante modelado físico. En cuanto a la metodología de análisis numérico, y dado que dos dispositivos conversores de energía van a ser analizados conjuntamente (OWC y OBREC), IHCantabria optó por analizar ambas tecnologías primero por separado. En primer lugar se hizo un diseño conceptual de los mismos (definiendo sus dimensiones) y se caracterizó el comportamiento del diques cuando el WEC (OWC u OBREC) está integrado en él. Posteriormente, se analizaron ambos en paralelo con el modelado físico. En el presente trabajo se realizó dicho análisis para el caso de un dique vertical.

El diseño de la OWC se realizó siguiendo dos enfoques. Primero se realizó un enfoque analítico, donde se analizaron diferentes geometrías de cámara y sus frecuencias de resonancia. En segundo lugar, se realizó un análisis numérico utilizando el modelo NEMOH, que es un software de código abierto que calcula los coeficientes hidrodinámicos, la masa añadida, y las fuerzas de amortiguación y excitación, de un cuerpo flotante utilizando el Boundary Element Method (BEM).

Para el diseño del OBREC, se realizó un análisis numérico utilizando el modelo IH2VOF (ver Fig 2-izquierda), que es un modelo 2DV RANS ampliamente probado y validado, que utiliza el método VOF para rastrear la superficie libre desarrollada en IHCantabria. Para representar de forma realista las condiciones de caudal de entrada en la piscina, se implementó en el modelo una nueva condición de contorno consistente en definir un caudal de extracción de la piscina en función de la carga hidráulica existente.

Finalmente, para realizar el diseño final del cajón considerando ambas tecnologías integradas en él, se siguió la metodología de modelado híbrido (combinando modelado físico y numérico 2D/3D), la cual se presentará en este trabajo. Para el análisis numérico 3D se utilizó el modelo IHFOAM. Este modelo resuelve las ecuaciones RANS tridimensionales en dos fases incompresibles utilizando una discretización de volumen finito y el método VOF. Dentro de esta metodología híbrida, los resultados del modelo físico (ver esquema del modelo físico en la Fig 2-derecha) se usaron para calibrar (y también validar) el modelo numérico, y en base a ello se definió el cajón definitivo.

En cuanto al modelado físico, éste se realizó en el canal del oleaje que IHCantabria tiene a su disposición en la Escuela Técnica Superior de Caminos Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria, que presenta unas dimensiones de 68.5m×2m×2m. Dado que se querían ensayar 4 configuraciones del dique (A1: Cajón original; A2: Cajón con OWC; A3: Cajón con OBREC; A4: Cajón con OWC y OBREC ), y con el objetivo de reducir tiempo y costes, se optó por dividir el canal longitudinalmente y ensayar dos configuraciones a escala 1/35 a la vez (A1-A2 y A3-A4). En dicha campaña se realizaron ensayos tanto de comportamiento operacional de los dispositivos, como de estabilidad y funcionalidad del propio dique, teniendo oleajes regulares e irregulares con alturas de ola comprendidas entre 2 y 10 m, y periodos entre 7.5 y 18 s (valores en prototipo). Como resultado de dicha campaña se obtuvieron medidas de superficie libre y presiones, que servirían posteriormente para la calibración y validación de los modelos numéricos.

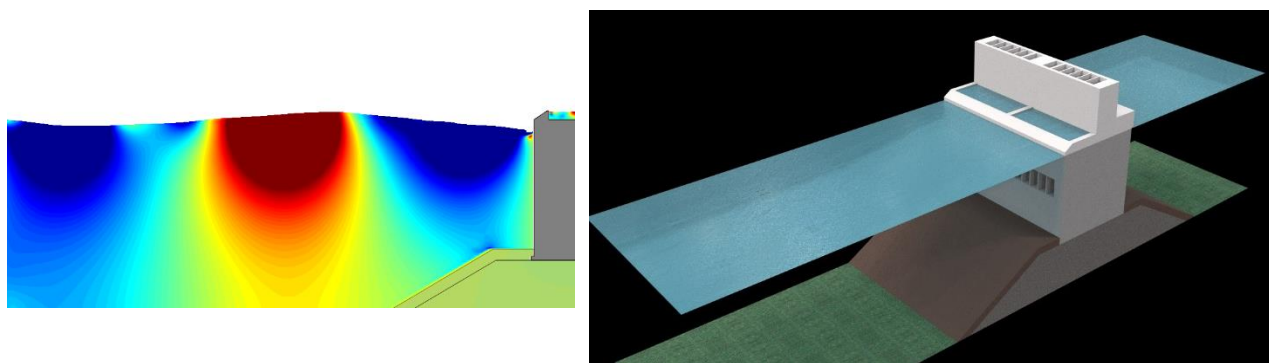


Figure 2. Modelado numérico con IH2VOF (izquierda) y esquema del modelo físico (derecha).

### 3. Referencias

IH2VOF, <http://ih2vof.ihcantabria.com>

IHFOAM, <https://ihfoam.ihcantabria.com>